

伝達衝撃応力測定のための感圧シートの利用

Utilization of pressure-sensitive sheet for transmitted stress measurement

名古屋工業大学	○学生員	奥村勇太 (Yuta Okumura)
名古屋工業大学	正員	前田健一 (Kenichi Maeda)
名古屋工業大学	学生員	内藤直人 (Naoto Naito)
室蘭工業大学	正員	栗橋祐介 (Yusuke Kurihashi)
構研エンジニアリング	フェロー	川瀬良司 (Ryoji Kawase)
寒地土木研究所	正員	今野久志 (Hisashi Konno)

1. はじめに

ロックシェッドの屋根部分である頂版上には、落石衝撃力の緩衝効果に優れる敷砂などの緩衝材が設置されている。しかし、既設ロックシェッドの調査報告によれば、頂版上の緩衝材は現地の崖錐堆積物など主に砂質礫であるが、それらと敷砂緩衝材の緩衝効果を比較した検討は多くない。

そこで、著者らは細かい粒度を含む砂と崖錐堆積物を含む碎石では、落石が受ける衝撃力（落石衝撃力）や構造物に伝達する衝撃力（伝達衝撃力）に違いがあることを明らかにしてきた¹⁾。また、その際、力が作用すると反応する感圧シートを緩衝層底面に設置し、明度の値やその分布について定性的に評価をしてきた。

本研究では、新たに感圧シートの明度と伝達衝撃応力を比較する校正試験を実施し、明度を応力値に変換することで定量的な評価ができるように試みた。また、校正結果を用い、緩衝層に重錘を落下させる衝撃実験の実験結果との比較検討を行った。

2. 概要

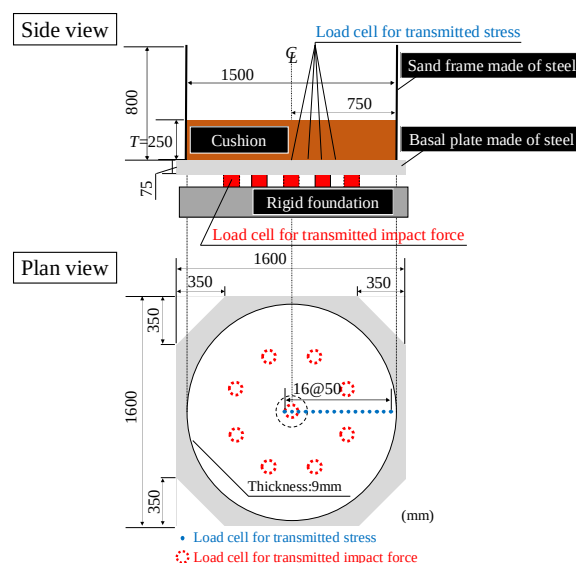
2.1 実験装置

図-1に実験装置である直径1500mm、高さ800mmの鋼製円筒土槽の概要図を示す。校正試験及び衝撃実験では、鋼製底盤に面一で設置された16個の起歪柱型ロードセル（以降、応力計）にて伝達衝撃応力を計測した。なお、ここで用いた応力計は、図-1中の青点で示す配置とし、受圧面は直径20mm、容量は10MPaである。

図-2には校正試験及び衝撃試験にて緩衝層底面に設置した感圧シートの設置状況を示す。実験に用いた感圧シートは富士フィルム製プレスケールのうち測定可能圧力帯が2.5~10MPa（低圧用(LW)）、0.5~2.5MPa（超低圧用(LLW)）、0.2~0.6MPa（極超低圧(LLLW)）の3種類である。

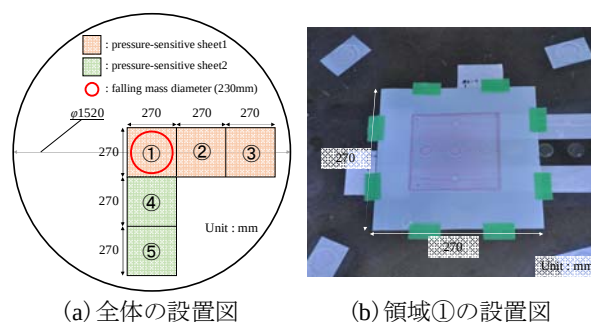
図-2(a)に示す縦270mm、横270mmの各領域(①~⑤)に分割し設置することとした。なお、領域④と⑤では、領域①~③より測定可能圧力帯が一つ小さい感圧シートを使用することとした。

図-2(b)には重錘落下位置である領域①の設置図を示しており、本論文では領域①における実験結果を中心に報告する。



(上) 側面図 (下) 平面図

図-1 実験装置概要図



(a) 全体の設置図 (b) 領域①の設置図

図-2 感圧シートの設置状況

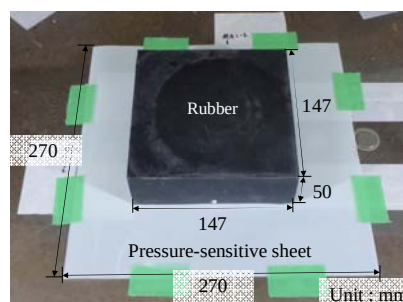


図-3 校正試験の概要図

表-1 校正試験における試験条件

	Pressure-sensitive sheet	Measuring range [MPa]	Loading method	mass [kg]	Diameter [mm]	Falling height [mm]
Case1	LW	2.5~10	falling mass	400	200	50
Case2	LW	2.5~10	impact accelerometer instrument	4.5	60	400
Case3	LLW	0.5~2.5	impact accelerometer instrument	4.5	60	400
Case4	LLLW	0.2~0.6	wooden hammer	0.132	35	-

表-2 衝撃実験における実験条件

Specimen	Layer contents	Pressure-sensitive sheet1	Measuring range [MPa]	Pressure-sensitive sheet2	Measuring range [MPa]
Sand	Sand 250mm	LLW	0.5~2.5	LLLW	0.2~0.6
Gravel	Gravel 250mm	LW	2.5~10	LLW	0.5~2.5
Alternate	Sand 83mm, Gravel 84mm, Sand 83mm	LW	2.5~10	LLW	0.5~2.5

2.2 応力計の校正試験

図-3 に校正試験の概要図を示す。感圧シートの中央に縦 147mm, 横 147mm, 高さ 50mm のゴムを置き, その上から衝撃荷重を与えることで校正試験を実施した。表-1 には試験条件を示す。3 種類の感圧シートに対して, それぞれ異なる載荷方法で実施した。低圧用 (LW) の感圧シートに関しては大きな力の載荷と小さな力を載荷させた 2 つの載荷方法で行った。

また, 図-4 には載荷で用いた重錘, 衝撃加速度測定装置及び木製ハンマーを示す。重錘は高さ 50mm, 衝撃加速度測定装置は高さ 400mm から落下させ, 木製ハンマーは人の手によって載荷を行った。試験時に応力計により伝達衝撃応力を計測し, 試験後に感圧シートを取り外し, 明度を抽出した。

2.3 緩衝層に対する衝撃試験

図-4 (a) に示す質量 400kg, 直径 230mm の重錘を高さ 750mm より落下させる衝撃実験を実施した。図-5 に衝撃実験で用いた緩衝層の概要図を示す。緩衝層の厚さを 250mm として, 砂, 砕石, 互層の 3 ケースで実施した。互層とは上層に砂 83mm, 中間層に砕石 84mm, 下層に砂 83mm を設置したものである。また, 緩衝層は三層にわけて足踏みをし, 緩詰めとなるように締固めた。表-2 には実験条件を示す。感圧シートは図-2 で示したように設置し, 一つの実験に 2 種類のものを用いた。校正試験と同様に, 実験時に伝達衝撃応力を計測し, 実験後に感圧シートを取り外し, 明度を抽出した。

2.4 応力計との比較による感圧シートの校正方法

図-6 に緩衝層底面に設置した感圧シート及び明度を抽出したコンター図の一例を示す。コンター図は感圧シートの縦 270mm, 横 270mm の領域から縦横 1pixel ごと読み取り, 作成している。感圧シートは力が作用すると反応して色が付き, 力の大小を色の濃さ (明度) で表すものである。図-6 中の 0 の値 (桃・赤色) が最も濃い色素であり, 作用した力が最も大きく, 255 の値 (白・青色) は力が加わっていないことを示している。

また, 図-7 に明度と伝達衝撃応力の校正方法の図を示す。図-7 (a) には, 校正試験における伝達衝撃応力波形の一例を示している。測定した伝達衝撃応力の最大値 (図-7 中: 赤点) を記録する。図-7 (b) には感圧シートにおいて, 明度を平均化する領域 (灰色) を示し

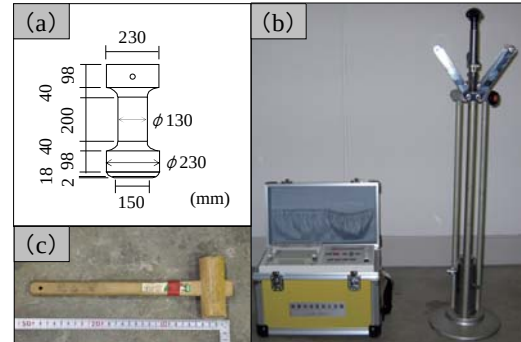


図-4 校正試験における載荷方法の概要

(a) 重錘 (b) 衝撃加速度測定装置

(c) 木製ハンマー

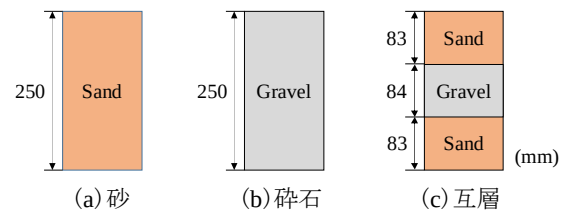
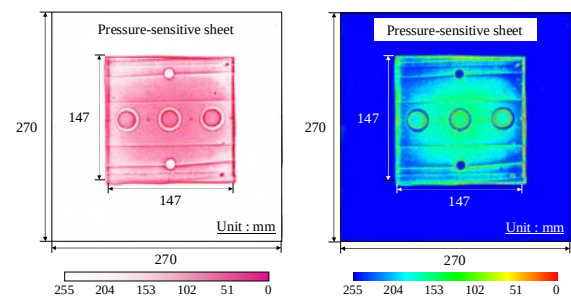


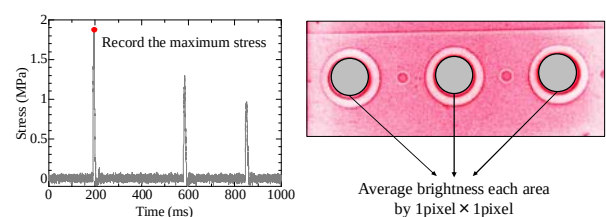
図-5 緩衝層の概要図



(a) 感圧シート

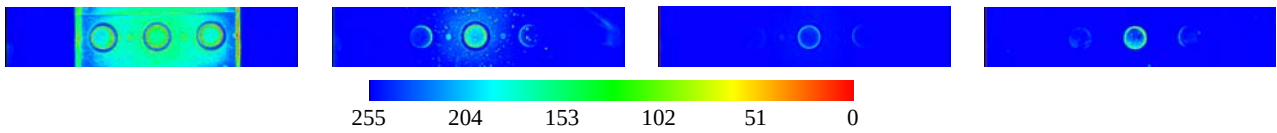
(b) コンター図

図-6 感圧シートの作成方法



(a) 伝達衝撃応力の記録値 (b) 明度を平均化する領域

図-7 明度と伝達衝撃応力の校正方法



(a) Case1 低圧用 (LW) (b) Case2 低圧用 (LW) (c) Case3 超低圧用 (LLW) (d) Case4 極超低圧用 (LLLW)

図-8 校正試験における感圧シートのコンター図

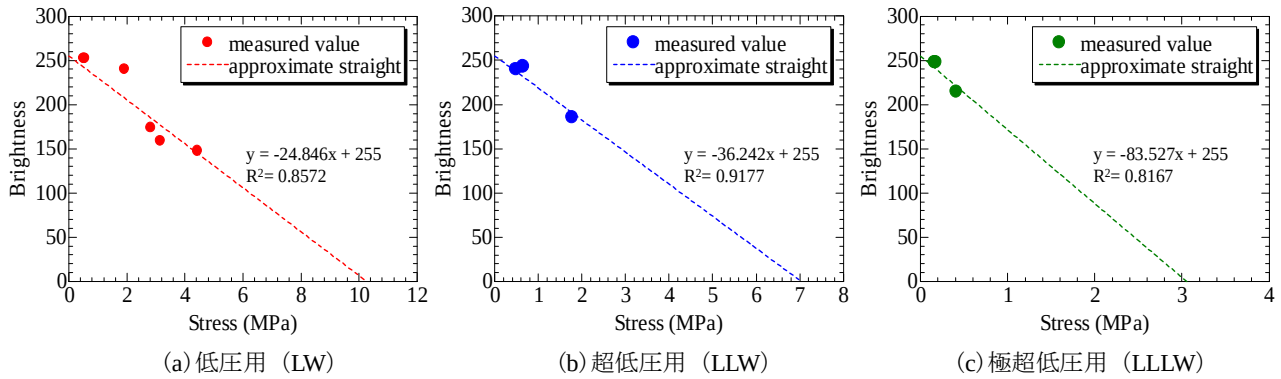


図-9 明度と伝達衝撃応力の校正結果

ている。灰色で塗られている領域はそれぞれ伝達衝撃応力を測定する応力計にあたる部分であり、この領域における明度の平均値を算出し、応力計の値との相関より関係式を求めることとした。

3. 結果及び考察

3.1 応力計との比較による校正試験

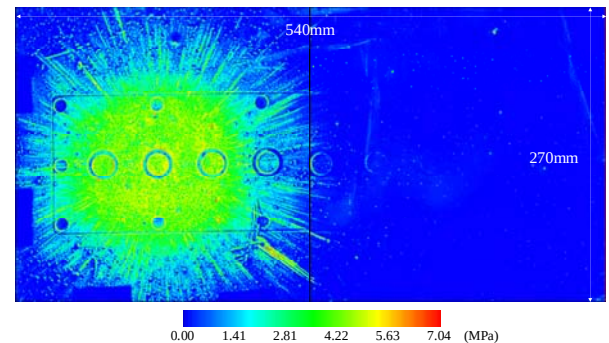
図-8 に校正試験における感圧シートのコンター図を示す。各コンター図より応力計の位置である3箇所での明度の平均値を算出し、伝達衝撃応力の最大値と比較し、校正を行った。その結果から図-9 に示す明度と伝達衝撃応力の関係式を作成した。図-9 中には、伝達衝撃応力 (x) と明度 (y) の関係式を示している。感圧シートの製品情報における、測定可能圧力帯の範囲は、例えば低圧用 (LW) では 2.5~10MPa であるが、校正試験では応力計が 2.5MPa 以下の値も測定できていることから感圧シートの測定可能圧力帯を 0MPa 以上であるとした上で校正を行った。そのため、y (明度) の切片を 255 とし、伝達衝撃応力と明度の線形線を作成した。

得られた伝達衝撃応力と明度の関係式を用いて、衝撃実験において、感圧シートの明度を応力値に変換し、定量的に扱うことができるように試みた。

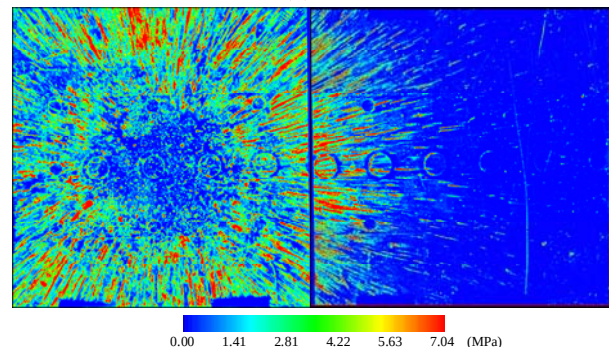
3.2 緩衝層に対する衝撃実験への適用

図-10 に衝撃実験における実験後の領域①と② (図-2 参照) におけるコンター図を示す。図-10 (a) は砂、(b) は碎石、(c) は互層の感圧シートである。この時、砂は超低圧用 (LLW)、碎石と互層は低圧用 (LW) を用いている。図-10 に示したコンター図は、明度を応力値に変換した後の図となっている。

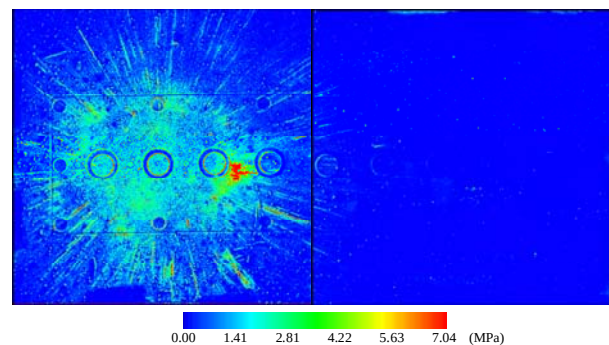
コンター図から、重錘中心付近において、砂、互層、碎石の順に応力値が大きくなっていることがわかる。また、重錘中心から 70mm の付近から外側に共通して粒子が放射状の跡が見られ、底面粒子が放射状に移動して



(a) 砂



(b) 碎石



(c) 互層

図-10 衝撃実験における感圧シートのコンター図

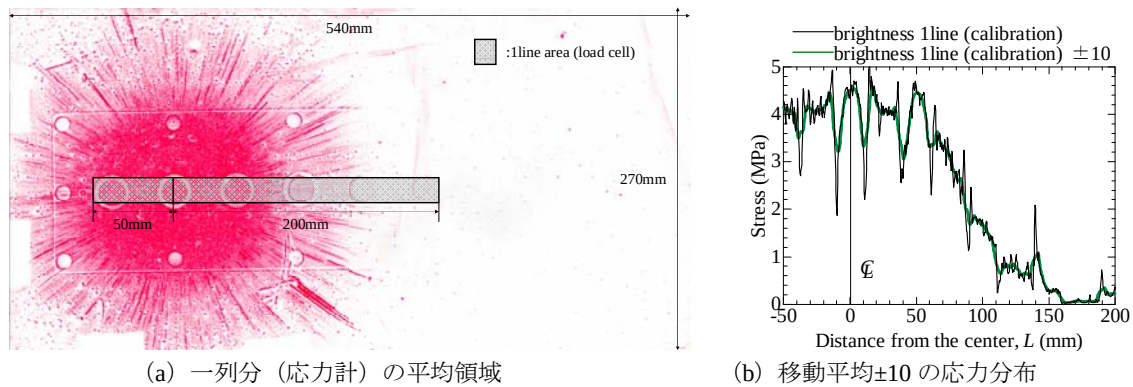


図-11 応力分布の作成方法

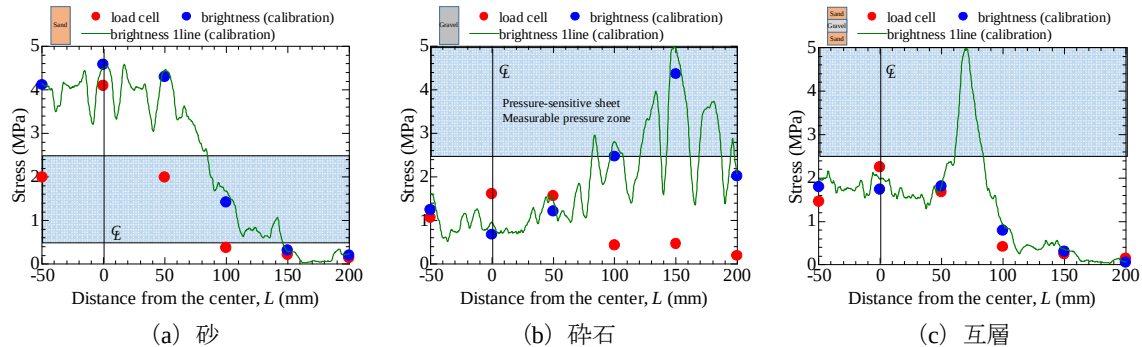


図-12 応力計との比較による校正結果を用いた応力分布

いる可能性を示唆している。

さらに、図-11 に示すように校正による応力値を重錘中心から-50mm, +200mm において、一行分（応力計：20mm）で算出した。図-11 (a) に示す灰色の領域において、図の縦方向を 1pixel ごとに平均値を取り、分布図としたものが図-11 (b) における黒線となる。また、図-11 (a) の横方向に前後 ± 10 pixel 分において、移動平均を算出して緑線の分布図を描いた。

図-12 には各緩衝層における、応力計との比較による校正結果を用いた応力分布図を示している。横軸に重錘中心からの距離 L (mm)、縦軸に応力 (MPa) をとっている。図-12 中の赤点は応力計で測定した伝達衝撃応力の値であり、青点は感圧シート上の応力計部分の明度を平均化し、応力値に変換した値である。また、緑線は図-11 にて算出した一行分の応力値であり、水色で塗られた領域は感圧シートの測定可能圧力帯を示している。

図-12 (a) の砂の場合、重錘直下の $L=0$ mm においてはほぼ同等であるが、 $L=-50, +50$ mm では校正による応力値が伝達衝撃応力よりも大きくなっている。これは、製品情報の測定可能圧力帯が 0.5~2.5MPa である超低圧用 (LLW) の感圧シートを用いて実施したが、実際には重錘直下の伝達衝撃応力の最大値が 4.1MPa となり、測定可能圧力帯を大きく上回ったことが原因であると考えられる。そのため、作用する応力に対する感圧シートの種類の選定が重要であると言える。

図-12 (b) の砕石の場合、重錘直下の $L=0$ mm において、校正による応力値が伝達衝撃応力よりも小さいのに対して、 $L=+50$ mm~+200mm の領域では校正による応力値が伝達衝撃応力よりも大きくなっている。これには砕石の粒子がごつごつした形が原因である可能性が挙げ

られる。そのため、感圧シートの上に敷く材料を考慮する必要があると考えられる。

図-12 (c) の互層の場合、伝達衝撃応力と校正による応力値はほぼ同じ値であり、衝撃荷重に対しても感圧シートを用いて十分に評価することができると言える。 $L=+75$ mm 付近に立ち上がった波形が見られるが、これは中間層の砕石が底面に衝突したことによるものである。

4. まとめ

本研究では、応力計の校正試験を実施し、明度を応力値に変換することで定量的な評価ができるように試みた。得られた結果は以下の通りである。

- 1) 校正試験より、明度の平均値と伝達衝撃応力の最大値から関係式を作成した。衝撃実験結果との比較では、校正による応力値と伝達衝撃応力は同等であり、衝撃荷重に対しても適用可能と考えられる。
- 2) 注意点として、作用する応力に対する感圧シートの種類の選定や上に敷く材料を考慮することが重要であると考えられる。
- 3) 感圧シートには放射線状の跡が見られ、底面粒子が移動している可能性が示唆された。

感圧シートは、応力計の設置が困難な場合に簡易的に測定することができる。そのため、今後は大型実験や実物大実験にも活用し、実際に構造物に衝撃力が伝達する範囲やその大きさを把握することを試みる。

参考文献

- 1) 奥村勇太, 前田健一, 内藤直人, 西弘明, 山口悟, 川瀬良司: 落石衝突による敷砂緩衝材の衝撃力メカニズム, 構造工学論文集, Vol.61A, pp.867-875, 2015.03.